



OACI

ORGANISATION DE L'AVIATION CIVILE INTERNATIONALE

RAPPORT SUR LA FAISABILITÉ
D'UN OBJECTIF AMBITIEUX À LONG TERME (LTAG)
CONCERNANT LA RÉDUCTION DES ÉMISSIONS DE CO₂
DE L'AVIATION CIVILE INTERNATIONALE



COMITÉ DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT EN AVIATION DE L'OACI
MARS 2022



**RAPPORT SUR LA FAISABILITÉ D'UN OBJECTIF
AMBITIEUX À LONG TERME (LTAG) CONCERNANT
LA RÉDUCTION DES ÉMISSIONS DE CO₂
DE L'AVIATION CIVILE INTERNATIONALE**

**COMITÉ DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT
EN AVIATION (CAEP) DE L'OACI**

Mars 2022

TABLE DES MATIÈRES

	Page
Résumé analytique.....	iv
1. Contexte.....	1
2. Résumé des résultats et quelques observations de haut niveau.....	2
3. Méthodologie.....	4
4. Résumé des résultats.....	6
5. Aspects à prendre en considération concernant les options	13
6. Autres aspects à prendre en considération	14
7. Appendices au rapport final	16
Appendice R1 : Fiches de synthèse	R1-1
Appendice R2 : Comparaison aux tendances	R2-1
Appendice R3 : Résultats en contexte	R3-1
Appendices sur la méthodologie	
a) Appendice M1 : Aperçu des approches de modélisation utilisées dans l'élaboration des résultats	M1-1
b) Appendice M2 : Prévisions	M2-1
c) Appendice M3 : Technologies	M3-1
d) Appendice M4 : Exploitation	M4-1
e) Appendice M5 : Carburants	M5-1
Appendice S1 : Contexte de la climatologie	S1-1
Appendice B1 : Généralités	B1-1

Résumé analytique

À la 40^e session de l'Assemblée de l'OACI, les États membres de l'Organisation ont demandé au Conseil de continuer à explorer la faisabilité d'un objectif ambitieux à long terme (LTAG) mondial pour l'aviation civile internationale en menant des études détaillées évaluant la possibilité de réaliser les objectifs proposés et les incidences de ces derniers, notamment sur la croissance et les coûts dans tous les pays, en particulier les pays en développement, l'avancement des travaux devant être présenté à la 41^e session de l'Assemblée de l'OACI.

L'Équipe spéciale du CAEP sur l'objectif ambitieux à long terme (LTAG-TG), en coordination avec d'autres groupes de travail du CAEP [p. ex., le Groupe de soutien sur les prévisions et l'analyse économique (FESG), le Groupe sur la modélisation et les bases de données (MDG)], a entrepris de collecter des données auprès de sources internes et externes et d'élaborer trois scénarios sectoriels intégrés s'appuyant chacun sur un sous-ensemble de scénarios relatifs à la technologie, aux carburants et à l'exploitation, qui représentent une gamme d'états de préparation et de capacités de réalisation. Les scénarios ont été analysés dans le but de comprendre les incidences sur les émissions de CO₂, les coûts et les investissements, ainsi que les répercussions possibles sur la croissance de l'aviation, le bruit et la qualité de l'air. La LTAG-TG a aussi documenté les données sous-jacentes afin d'analyser l'incidence dans tous les pays, en particulier les pays en développement. Enfin, les scénarios ont été placés dans le contexte des dernières connaissances scientifiques consensuelles.

Observations de haut niveau

Si les scénarios intégrés montrent la possibilité d'une réduction importante des émissions de CO₂, aucun d'eux ne prévoit des émissions de CO₂ nulles au moyen de mesures propres au secteur (c'est-à-dire, mesures liées à la technologie des aéronefs, à l'exploitation et aux carburants). Cette situation s'explique par la prise en considération des émissions liées au cycle de vie des carburants et se produit malgré un remplacement à 100 % des carburéacteurs classiques par de nouveaux carburants, par exemple les carburants d'aviation durables (SAF) produits à partir de biomasse, de déchets ou de CO₂ atmosphérique ou l'hydrogène. Il est utile de noter qu'au fur et à mesure que d'autres volets des économies réduiront leurs émissions, la valeur du cycle de vie devrait également diminuer. Le champ d'exploration de la LTAG-TG étant limité aux mesures sectorielles, les mesures « hors secteur » n'ont pas été prises en compte dans son analyse.

Le taux de croissance global du trafic a un effet important sur les émissions résiduelles de CO₂ d'ici à 2050 et au-delà.

Les carburants interchangeable ont l'incidence la plus importante sur les émissions de CO₂ résiduelles qui contribueront aux réductions globales d'ici à 2050. Cette observation est, dans une certaine mesure, indépendante des scénarios concernant la technologie et l'exploitation. L'hydrogène ne devrait pas avoir une incidence importante d'ici à 2050 (il ne représentera que 1,9 % de la part énergétique en 2050), mais elle pourrait augmenter dans les années 2050 et 2060 si l'hydrogène est techniquement et commercialement viable.

Les aéronefs à fuselage et à voilure perfectionnés peuvent manifestement permettre d'améliorer le rendement (énergétique) du carburant du système de l'aviation internationale, les aéronefs à configurations non conventionnelles apportant une contribution supplémentaire. Les aéronefs propulsés à l'hydrogène présenteraient un rendement énergétique moindre que les aéronefs fonctionnant avec des carburants liquides, compte tenu que les réductions d'émissions seraient liées aux réductions des émissions pendant le cycle de vie de l'hydrogène.

L'analyse montre qu'il existe des possibilités de réduire les émissions de CO₂ des vols en améliorant les performances dans toutes les phases de vol, y compris par des mesures non conventionnelles telles que les vols en formation.

Les coûts et les investissements associés aux scénarios sont en grande partie déterminés par les carburants (par ex., les SAF), sachant que les coûts marginaux des carburants (c'est-à-dire le prix de vente minimum des SAF par rapport aux carburateurs classiques) incitent à améliorer le rendement (énergétique) dans le domaine de la technologie des aéronefs et de l'exploitation. Cela nécessitera également des investissements de la part des gouvernements et du secteur.

La technologie des aéronefs et les décisions associées en matière de conception continueront de répondre aux besoins du marché mondial et ne varieront pas selon les régions. Dans différentes régions ou différents États, les exploitants d'aéronefs achèteront les meilleurs aéronefs disponibles qui répondent à leurs besoins. Des écarts sont aussi prévus entre les régions pour ce qui est de la mise en oeuvre de mesures opérationnelles. Les écarts les plus importants devraient s'observer dans la production et l'adoption des carburants, compte tenu de divers facteurs : disponibilité régionale des matières premières dérivées des déchets et de la biomasse, du CO₂ et de l'hydrogène cryogénique, de l'énergie renouvelable, dynamique du marché et infrastructure.

Un nombre limité de scénarios a été élaboré par la LTAG-TG pour rendre compte des ambitions croissantes en matière de technologie des aéronefs, d'exploitation et de carburants, mais il existe des voies multiples susceptibles d'aboutir à des niveaux similaires d'émissions de CO₂. Les analyses de la LTAG-TG attestent de la robustesse des scénarios et des analyses relatifs au LTAG, tout en notant que si des filières différentes peuvent mener à des niveaux similaires d'émissions de CO₂, elles peuvent avoir différentes répercussions, par exemple en matière de coûts (investissements) et d'incidences régionales.

Le présent rapport est le fruit de près de deux ans de travaux intensifs menés par le CAEP. Les sections suivantes présentent le contexte, les méthodologies, les résultats et les interprétations de l'étude de la LTAG-TG. Un ensemble d'appendices justificatifs présente aussi des approches de modélisation, des méthodologies, des modèles, des hypothèses et décrit les résultats dans un souci de transparence et d'exhaustivité.

1. CONTEXTE

1.1 À la 40^e session de l'Assemblée de l'OACI (24 septembre – 4 octobre 2019), les États membres de l'Organisation ont demandé au Conseil de continuer à explorer la faisabilité d'un objectif ambitieux à long terme (LTAG) mondial pour l'aviation civile internationale, en menant des études détaillées évaluant la possibilité d'atteindre les objectifs proposés et les incidences de ces derniers, notamment sur la croissance et les coûts dans tous les pays, notamment les pays en développement, l'avancement des travaux devant être présenté à la 41^e session de l'Assemblée de l'OACI (cf. paragraphe 9 du dispositif de la résolution A40-18 de l'Assemblée).

1.2 À sa 219^e session, le 13 mars 2020, le Conseil a approuvé l'organisation des travaux visant à évaluer la faisabilité d'un LTAG, comme indiqué dans le mandat de l'Équipe spéciale sur l'objectif ambitieux à long terme (LTAG-TG) du CAEP.

1.3 Après accord du Conseil, la LTAG-TG du CAEP a entrepris : 1) la collecte de données auprès de sources internes et externes de manière transparente et inclusive, 2) l'élaboration de scénarios sectoriels combinés en matière de technologie d'aéronefs, de carburants et d'exploitation, qui représentent une gamme d'états de préparation et de capacités de réalisation fondés sur la collecte de données, et 3) l'analyse finale des scénarios afin de comprendre les incidences sur les émissions de CO₂ et les coûts associés aux scénarios, ainsi que les incidences économiques sur la croissance de l'aviation, le bruit et la qualité de l'air dans tous les pays, en particulier les pays en développement ; les résultats ont été placés dans le contexte des dernières connaissances scientifiques consensuelles.

1.4 Les travaux de la LTAG-TG ont été réalisés par des sous-groupes spécialisés composés d'experts en technologie aéronautique (TECH-SG), en amélioration des procédures d'exploitation (OPS-SG), en production de carburant (FUEL-SG), ainsi que par un sous-groupe chargé de l'élaboration de scénarios (SD-SG) qui a coordonné les travaux entre les autres sous-groupes et avec des groupes extérieurs à la LTAG-TG, comme le MDG et le FESG. Un Groupe ad hoc sur l'estimation des coûts (CEahg) a également été constitué sous l'égide du SDSG de la LTAG-TG pour examiner spécifiquement les aspects de l'analyse liés aux coûts et aux investissements. Le rapport final regroupe les travaux cumulatifs de plus de 280 experts et de plus de 200 réunions virtuelles et fournit une évaluation technique de la faisabilité d'un LTAG qui inclut une proposition de recommandation du CAEP au Conseil, notamment des options et des feuilles de route à des fins de réalisation.

2. **RÉSUMÉ DES RÉSULTATS ET QUELQUES OBSERVATIONS DE HAUT NIVEAU**

2.1 Sur la base des analyses complexes et approfondies du CAEP, quelques observations de haut niveau ont été faites :

- a) Si les scénarios montrent un potentiel de réduction importante des émissions de CO₂, aucun d'entre eux ne prévoit des émissions de CO₂ nulles au moyen des mesures propres au secteur (à savoir, technologie des aéronefs, exploitation et carburants). Ceci s'explique par la prise en compte des émissions liées au cycle de vie des carburants et se vérifie malgré un remplacement à 100 % des carburateurs classiques par de nouveaux carburants, par exemple les carburants d'aviation durables (SAF) – produits à partir de biomasse, de déchets, de CO₂ atmosphérique ou l'hydrogène. Il est utile de noter qu'au fur et à mesure que d'autres secteurs économiques réduiront leurs émissions, la valeur du cycle de vie devrait également diminuer. Le champ d'exploration de la LTAG-TG étant limité aux mesures sectorielles, les mesures « hors secteur » n'ont pas été prises en compte dans l'analyse de la LTAG-TG.
- b) Le taux de croissance global du trafic a une incidence importante sur les émissions résiduelles de CO₂ d'ici à 2050 et au-delà.
- c) Les carburants interchangeables ont l'incidence la plus importante sur les émissions de CO₂ résiduelles qui contribueront aux réductions globales d'ici à 2050. Ce résultat est dans une certaine mesure indépendant des scénarios concernant la technologie des aéronefs et l'exploitation. L'hydrogène embarqué ne devrait pas avoir une incidence importante d'ici à 2050 (avec seulement 1,9 % de la part énergétique en 2050), mais elle pourrait augmenter dans les années 2050 et 2060 si cette solution est techniquement réalisable et commercialement viable.
- d) Les aéronefs à fuselage et voilure perfectionnés peuvent manifestement permettre d'améliorer le rendement (énergétique) du carburant du système de l'aviation internationale, tout comme les aéronefs de configurations non conventionnelles, qui contribueront progressivement à ce rendement. La poussée technologique continuera de croître après 2050, lorsque ces types d'aéronefs feront leur entrée dans la flotte. Il convient toutefois de faire preuve de prudence dans l'interprétation des niveaux absolus d'émissions de CO₂ en raison des hypothèses de modélisation (par ex., des aéronefs continuent d'entrer dans la flotte, mais leur technologie est gelée au niveau de 2050 (aucune autre amélioration technologique après 2050, d'où des émissions de CO₂ plus élevées que prévu après 2050). Les aéronefs propulsés à l'hydrogène auraient un rendement énergétique moindre en vol que les aéronefs fonctionnant avec des carburants interchangeables, compte tenu que les réductions des émissions de CO₂ dépendent du cycle de vie de l'hydrogène utilisé, et que la production de carburants interchangeables peut présenter un rendement énergétique inférieur à celui de la production d'hydrogène liquide sur la base d'un cycle de vie.
- e) L'analyse montre qu'il existe des possibilités de réduire les émissions de CO₂ des vols en améliorant les performances dans toutes les phases de vol, y compris par des mesures non conventionnelles telles que les vols en formation.
- f) Les coûts et les investissements associés aux scénarios sont en grande partie déterminés par les carburants (p. ex., les SAF), étant entendu que les coûts marginaux des carburants (c'est-à-dire le prix de vente minimum des SAF par rapport aux carburateurs classiques) incitent à

améliorer le rendement (énergétique) dans le domaine de la technologie et de l'exploitation des avions. Cela nécessitera également des investissements de la part des gouvernements et du secteur.

- g) Un nombre limité de scénarios a été élaboré par la LTAG-TG pour rendre compte des ambitions croissantes en matière de technologie des avions, d'exploitation et de carburants, mais il existe des voies multiples susceptibles d'aboutir à des niveaux similaires d'émissions de CO₂. Les analyses de la LTAG-TG attestent de la robustesse des scénarios et des analyses relatifs au LTAG.

3. MÉTHODOLOGIE

3.1 **Scénarios intégrés** : Trois scénarios intégrés ont été élaborés pour le LTAG prenant en compte « l'état de préparation, la capacité de réalisation et l'ambition ».

3.1.1 **Scénario intégré 1 (IS1)** - « état de préparation et capacité de réalisation élevés et faible ambition ». Ce scénario nominal ou de bas niveau représente les attentes actuelles (2021) relativement aux technologies et efficacités opérationnelles futures et à la disponibilité du carburant. Il comprend des facteurs politiques propices attendus favorisant les investissements en matière de technologie, d'exploitation et de carburants et un faible niveau de changement du système, en particulier l'absence de changements d'infrastructure importants. Sur les trois scénarios, c'est celui qui nécessite le moins d'effort de mise en œuvre, bien que cet effort soit tout de même considérable pour certains acteurs.

3.1.2 **Scénario intégré 2 (IS2)** - « état de préparation et capacité de réalisation moyens et ambition moyenne ». Ce scénario rehaussé ou de plus grande ambition se situe à peu près à mi-chemin des deux autres scénarios – déploiement plus rapide des technologies futures, efficacités opérationnelles accrues et plus grande disponibilité des carburants. Le scénario suppose des facteurs politiques propices plus marqués favorisant les investissements en matière de technologie, d'exploitation et de carburants et un plus grand changement du système, par exemple des changements d'infrastructure limités. Des trois scénarios, c'est celui qui nécessite un effort moyen de mise en œuvre.

3.1.3 **Scénario intégré 3 (IS3)** - « état de préparation et capacité de réalisation faibles et ambition élevée ». Ce scénario dynamique ou à ambition élevée représente l'effort maximum possible sur le plan du déploiement des technologies futures, des efficacités opérationnelles et de la disponibilité du carburant. Il suppose des facteurs politiques propices maximums favorisant les investissements en matière de technologie, d'exploitation et de carburants et un changement d'envergure du système harmonisé à l'échelle mondiale, par exemple des changements importants et d'envergure de l'infrastructure aéroportuaire et énergétique. Des trois scénarios, c'est celui qui nécessite le plus grand effort de mise en œuvre.

3.1.4 Tous les scénarios sont placés dans le contexte d'un scénario intégré 0 (IS0) qui représente des réductions d'émissions découlant de l'évolution de la flotte basées sur une technologie des aéronefs gelée au niveau de 2018 et sans autre améliorations du point de vue de l'exploitation et des carburants. Ce scénario IS0, qui est identique au scénario de base de l'analyse des tendances du cycle CAEP/12, comprend les avantages du renouvellement de la flotte en vertu duquel les transporteurs aériens investissent considérablement dans l'acquisition de nouveaux aéronefs (même si la technologie est gelée au niveau de 2018). Le CAEP n'a pas modélisé de scénario sur l'« efficacité du carburant avec une technologie gelée à 2018 » dans son analyse des tendances ou dans l'analyse de la LTAG-TG. Cet autre scénario aurait montré les tendances en matière de consommation de carburant et d'émissions de CO₂ au-delà du scénario IS0 (de référence) et intégré la contribution supplémentaire du renouvellement de la flotte par les transporteurs aériens. Cela n'aurait changé en rien les résultats de l'étude de la LTAG-TG.

3.2 **Cadre de modélisation** : Consciente que sa tâche consiste à évaluer la faisabilité de scénarios futurs possibles, la LTAG-TG s'est appuyée sur les outils et les méthodologies du Groupe de soutien sur les prévisions et l'analyse économique (FESG) et du Groupe sur la modélisation et les bases de données (MDG) qui ont été utilisés pour établir les tendances de l'analyse des tendances du CAEP. Elle a notamment tiré partie de la plus récente analyse de tendances du cycle CAEP/12. Pour cela, l'année de référence de l'analyse sur le LTAG a été fixée à 2018 et la période d'analyse a été étendue jusqu'à 2070 afin de pouvoir observer les effets des nouvelles technologies qui feront leur entrée dans la flotte en 2050.

Les prévisions, réalisées par le FESG, représentent des prévisions de trafic aérien international faible, moyen et élevé après la COVID, conformément aux tendances.

3.3 **Estimation des coûts (investissement)** : Les coûts et les investissements (c'est-à-dire les coûts non récurrents, les frais de carburants et les immobilisations) associés aux scénarios relatifs au LTAG ont été évalués du point de vue quantitatif afin de mettre au point une distribution totale et temporelle des coûts et des investissements parmi les différents groupes d'acteurs. Lorsque des coûts/investissements et répercussions économiques potentielles ont été définis sans pouvoir être quantifiés, ils ont été décrits sur le plan qualitatif.

4. RÉSUMÉ DES RÉSULTATS

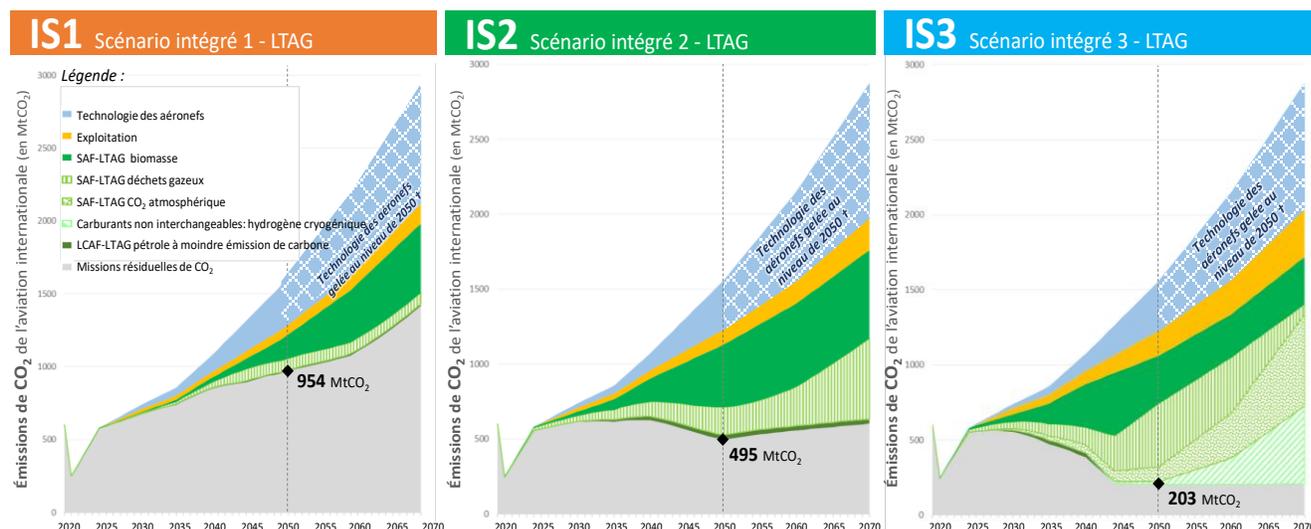
4.1 Introduction

4.1.1 Le résumé des résultats est structuré de manière à répondre aux questions suivantes :

- De quelle manière les mesures sectorielles (c'est-à-dire, technologie des aéronefs, exploitation et carburants) contribuent-elles à la réduction des émissions de CO₂ de l'aviation internationale jusqu'en 2050 et au-delà? (Section 4.2) ;
- Étant donné les tendances en matière d'émissions de CO₂ pour chaque scénario, quelles seraient les émissions cumulées de l'aviation internationale? De quelle manière ces émissions cumulées se comparent-elles aux exigences de limitation du réchauffement mondial à 1,5°C et à 2°C? (Section 4.3) ;
- Quels investissements sont nécessaires pour appuyer la mise en œuvre des mesures sectorielles associées à chaque scénario? Quelles seraient les incidences financières pour les acteurs du secteur de l'aviation? (Section 4.4) ;
- Quels seraient les effets de divers niveaux de trafic aérien dans le futur? (Section 4.5) ;
- À quel point les résultats sont-ils sensibles aux hypothèses des scénarios? (Section 4.6).

4.2 Tendances en matière d'émissions de CO₂ de l'aviation internationale

4.2.1 À l'aide du cadre de modélisation décrit à la section 3.2, le CAEP a évalué les émissions de CO₂ de l'aviation internationale pour chacun des scénarios IS1, IS2 et IS3. Sauf indication contraire, les résultats correspondent à des prévisions de trafic moyen.



† La prudence est de mise dans l'interprétation des niveaux absolus d'émissions de CO₂ après 2050 en raison des hypothèses de modélisation, p. ex., arrêt de la technologie des aéronefs au niveau de 2050. En vertu de ces hypothèses, les émissions de CO₂ sont plus élevées que dans un scénario de rechange (et selon une approche de modélisation) où la technologie des aéronefs continuerait de s'améliorer après 2050.

Figure 1. Émissions de CO₂ de l'aviation internationale associées aux scénarios - LTAG

4.2.2 Dans un scénario IS1, les émissions de CO₂ après des réductions attribuables à la technologie des aéronefs, à l'exploitation et aux carburants pourraient atteindre environ 950 MtCO₂ en 2050 (1,6 fois le niveau d'émissions de CO₂ de 2019) et 1 420 MtCO₂ en 2070 (2,3 fois). Dans ce scénario

bas/nominal, les émissions en 2050 seraient réduites de 39 % par rapport au scénario de référence (IS0) : 20 % attribuables aux technologies d'aéronefs, 4 % à l'exploitation et 15 % aux carburants. D'ici 2070, ces pourcentages pourraient passer à 26 %, 5 % et 20 % respectivement. Dans ce scénario, les émissions de CO₂ résiduelles ne seraient pas stabilisées et continueraient d'augmenter pour dépasser les niveaux de 2019 (en tant qu'indicateur pour le niveau de 2020 avant la COVID-19). Jusqu'en 2050, le rendement du carburant à l'échelle mondiale, mesuré en carburant/TKP, s'améliorerait de 1,20 à 1,31 % par année (comparativement à l'objectif ambitieux mondial en matière de rendement du carburant de 2 % de l'OACI).

4.2.3 Dans un scénario IS2, les émissions de CO₂ pourraient atteindre ≈500 MtCO₂ en 2050 (0,8 fois le niveau de 2019) et se stabiliser plus ou moins aux niveaux de 2019. En 2050, les émissions seraient réduites de 68 % par rapport à un scénario de référence IS0 : 21 % attribuables aux technologies d'aéronefs, 6 % à l'exploitation et 41 % aux carburants. D'ici 2050, le rendement du carburant à l'échelle mondiale, mesuré en carburant/TKP, s'améliorerait de 1,35 à 1,47 % par année (comparativement à l'objectif ambitieux mondial en matière de rendement du carburant de 2 % de l'OACI).

4.2.4 Dans un scénario IS3, les émissions de CO₂ résiduelles pourraient atteindre ≈200 MtCO₂ en 2050 (un tiers du niveau des émissions de CO₂ de 2019) et 210 MtCO₂ en 2070. En 2050, les émissions seraient réduites de 87 % par rapport à un scénario de référence IS0 : 21 % attribuables aux technologies d'aéronefs, 11 % à l'exploitation et 55 % aux carburants. D'ici 2035, le rendement du carburant à l'échelle mondiale mesuré en carburant/TKP s'améliorerait de 1,42 à 1,60 % par an. Dans ce scénario qui comprend l'utilisation de carburants non interchangeables comme l'hydrogène, l'objectif ambitieux mondial en matière de rendement du carburant de 2 % de l'OACI devient obsolète (en fonction du rapport carburéacteur/TKP) et devrait être rajusté. D'ici 2050, le rendement du carburant à l'échelle mondiale, mesuré en MJ/TKP, s'améliorerait de 1,55 à 1,67 % par année.

4.3 Les émissions futures de l'aviation internationale mises en contexte

4.3.1 Sur la base des tendances en matière d'émissions de CO₂ décrites à la section 4.2, le CAEP a calculé les émissions de CO₂ cumulées de l'aviation internationale entre 2050 et 2070 (voir Figure 2). Le scénario IS1 donnerait 23 GtCO₂ d'émissions cumulées résiduelles de l'aviation internationale de 2020 à 2050 et 23 GtCO₂ de 2051 à 2070. Pour le scénario IS2, on obtiendrait des émissions de 17 GtCO₂ de l'aviation internationale de 2020 à 2050 et de 11 GtCO₂ de 2051 à 2070. Le scénario IS3 donne des émissions de 12 GtCO₂ de l'aviation internationale de 2020 à 2050 et de 4 GtCO₂ de 2051 à 2070.

4.3.2 Par la suite, le CAEP a placé ces résultats dans le contexte des budgets mondiaux du carbone pour limiter le réchauffement mondial à 1,5°C et à 2°C, en utilisant des données du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Les analyses du GIEC et du CAEP suivent des méthodologies différentes et comportent leurs propres incertitudes, comme il est décrit dans l'appendice R3, mais la comparaison est toutefois utile.

4.3.3 Dans le contexte, les émissions de CO₂ cumulées résiduelles anthropogéniques mondiales estimées à compter du début de 2020 pour limiter le réchauffement mondial à 1,5°C sont de 400 GtCO₂ selon une probabilité de 67 %. Selon le scénario, l'aviation internationale pourrait représenter environ

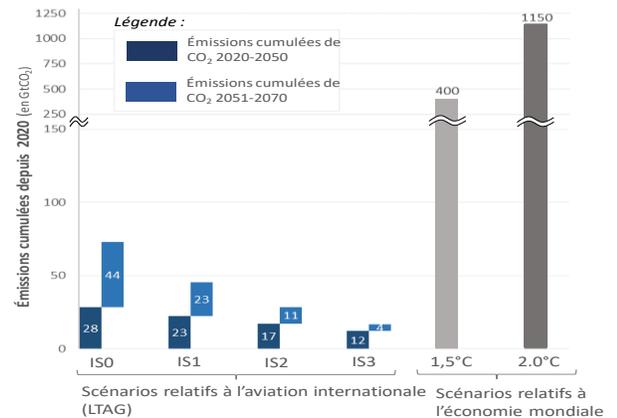


Figure 2. Émissions cumulées de CO₂ de l'aviation internationale dans le contexte de la limitation du réchauffement à 1,5°C et 2°C

de 4,1 à 11,3 % de ce total. Pour une limite du réchauffement à 2°C, les émissions de carbone restantes autorisées sont estimées à 1 150 GtCO₂ selon une probabilité de 67 %. Selon le scénario, l'aviation internationale pourrait représenter environ de 1,4 à 3,9 % de ce total. Les comparaisons fondées sur une probabilité de 50 % d'atteindre les objectifs de température figurent en appendice R3, pièce jointe A.

4.4 **Coût et investissements associés aux scénarios intégrés**

4.4.1 Le CAEP a évalué les coûts et les investissements associés aux scénarios relatifs au LTAG (voir la figure 3 pour un résumé et les appendices pour les données détaillées et les distributions temporelles, etc.). Il est important de noter que les coûts et les investissements associés à un scénario ne doivent pas être additionnés pour obtenir un coût cumulatif total. Certains investissements d'acteurs en amont de la chaîne sont répercutés sous la forme d'un prix supplémentaire des produits (par exemple, des investissements de fournisseurs de carburant sont répercutés sur les exploitants dans le cadre du prix de vente minimum). Ainsi, les coûts et les investissements sont répartis le long de la chaîne des acteurs.

4.4.2 *Investissements des États (à savoir, des gouvernements)* : pour appuyer l'évolution technologique des aéronefs, les États devront peut-être investir dans la recherche-développement. Dans le scénario IS1, les investissements pourraient aller de 15 à 180 milliards de dollars jusqu'en 2050. Pour soutenir une configuration avancée des aéronefs et/ou des systèmes énergétiques de pointe (à savoir, des aéronefs propulsés à l'hydrogène), ce chiffre pourrait atteindre 75 à 870 milliards de dollars dans les scénarios IS2 et IS3.

4.4.3 *Investissements des avionneurs* : pour apporter les améliorations à la technologie des aéronefs visées dans le scénario IS1, les avionneurs devraient faire des investissements de l'ordre de 180 milliards de dollars (fourchette de 150 à 380 milliards de dollars) entre 2020 et 2050, soit environ six milliards de dollars chaque année. Le développement d'aéronefs présentant des configurations non conventionnelles (IS2) et d'aéronefs propulsés à l'hydrogène (IS3) nécessiterait une augmentation substantielle des investissements de l'ordre de 350 milliards de dollars (fourchette de 260 à 1 000 milliards de dollars) entre 2020 et 2050.

4.4.4 *Investissements des fournisseurs de carburant* : pour commencer à accroître la capacité de production de carburants dans le scénario IS1, les fournisseurs de carburant devraient investir environ 1 300 milliards jusqu'en 2050, répartis comme suit : 480 milliards de dollars pour les SAF produits à partir de biomasse d'ici 2050 (afin de couvrir 19 % de la consommation d'énergie de l'aviation internationale en 2050), 710 milliards de dollars pour les SAF produits à partir de déchets gazeux (8 %) et 50 milliards de dollars pour les carburants d'aviation à moindre émission de carbone (LCAF) LTAG (7 %). L'augmentation de la production de carburants dans le scénario IS2 nécessiterait des investissements de 2 300 milliards de dollars jusqu'en 2050. Enfin, dans le scénario IS3, les investissements seraient d'environ 3 200 milliards de dollars répartis comme suit : 950 milliards de dollars pour les SAF produits à partir de biomasse d'ici 2050 (afin de couvrir 42 % de la consommation d'énergie de l'aviation internationale en 2050), 1 700 milliards de dollars pour les SAF provenant de déchets gazeux (46 %), 460 milliards de dollars pour les SAF produits à partir de CO₂ atmosphérique (10 %), 60 milliards de dollars pour les carburants d'aviation à moindre émission de carbone (LCAF) LTAG (0 %) et 55 milliards de dollars pour l'hydrogène (2 %). Ces dépenses en immobilisations sont destinées à des usines de production de carburant complètement nouvelles et elles n'ont pas été réduites par des investissements qui seraient faits dans le secteur des carburants classiques et nécessaires dans le scénario de référence (IS0). De plus, les investissements visés dans les analyses du CAEP conduiraient au développement économique local (par exemple, les raffineries qui utilisent des matières premières renouvelables ou des déchets pour produire des SAF stimulerait les possibilités de développement économique du monde rural).

4.4.5 **Coûts et investissements pour les aéroports** : pour mettre en œuvre des mesures d'exploitation, les aéroports devront peut-être faire des dépenses ou des investissements allant de deux à six milliards de dollars dans tous les scénarios LTAG. En outre, dans le scénario IS3 où des aéronefs propulsés à l'hydrogène peuvent entrer en service après 2035, les aéroports auront peut-être besoin de réaliser des investissements dans les infrastructures de l'ordre de 100 à 150 milliards de dollars d'ici 2050.

4.4.6 **Coûts et investissements pour les fournisseurs de services de navigation aérienne (ANSP)** : les mesures d'exploitation spécifiques au LTAG appelleraient des investissements et des dépenses pour les ANSP allant de 11 à 20 milliards de dollars d'ici 2050.

4.4.7 **Coûts et investissements pour les exploitants (transporteurs aériens)** : l'entrée dans la flotte d'aéronefs présentant des améliorations technologiques réduirait la consommation de carburant et les dépenses d'exploitation en carburant pour les transporteurs aériens d'environ 710 à 740 milliards de dollars jusqu'en 2050. Des investissements supplémentaires pour couvrir toute hausse du prix des aéronefs (après amélioration technologique) seront peut-être nécessaires, ce qui réduirait les économies nettes découlant des améliorations technologiques qu'apporteraient les transporteurs aériens aux aéronefs. La mise en œuvre de mesures d'exploitation pourrait réduire les dépenses en carburant des exploitants de l'ordre de 210 à 490 milliards de dollars jusqu'en 2050, mais elle nécessiterait des dépenses et des investissements supplémentaires allant de 40 à 155 milliards de dollars. Dans le scénario de référence, les coûts afférents aux carburants auraient la plus grande incidence sur les exploitants, en raison des coûts marginaux des carburants (prix de vente minimum) par rapport au carburéacteur classique. Dans le scénario IS1, l'acquisition de carburants par les transporteurs aériens pourrait engendrer des coûts marginaux par rapport aux carburéacteurs classiques de 1 100 milliards de dollars, répartis ainsi : 300 milliards de dollars, 770 milliards de dollars et 50 milliards de dollars pour les SAF produits à partir de biomasse, les SAF produits à partir de déchets et les LCAF respectivement. Les coûts marginaux des carburants augmenteraient dans le scénario IS2 pour atteindre environ 2 700 milliards de dollars. Enfin, dans le scénario IS3 où la totalité des carburéacteurs classiques sont remplacés par les carburants en question à partir de 2040, les dépenses pour les transporteurs aériens atteindraient 4 000 milliards de dollars jusqu'en 2050 (répartis ainsi : 1 600 milliards de dollars, 1 800 milliards de dollars, 600 milliards de dollars, 60 milliards de dollars et 10 milliards de dollars pour les SAF produits à partir de biomasse, les SAF produits à partir de déchets, les SAF produits à partir de CO₂ atmosphérique, les LCAF et l'hydrogène, respectivement).

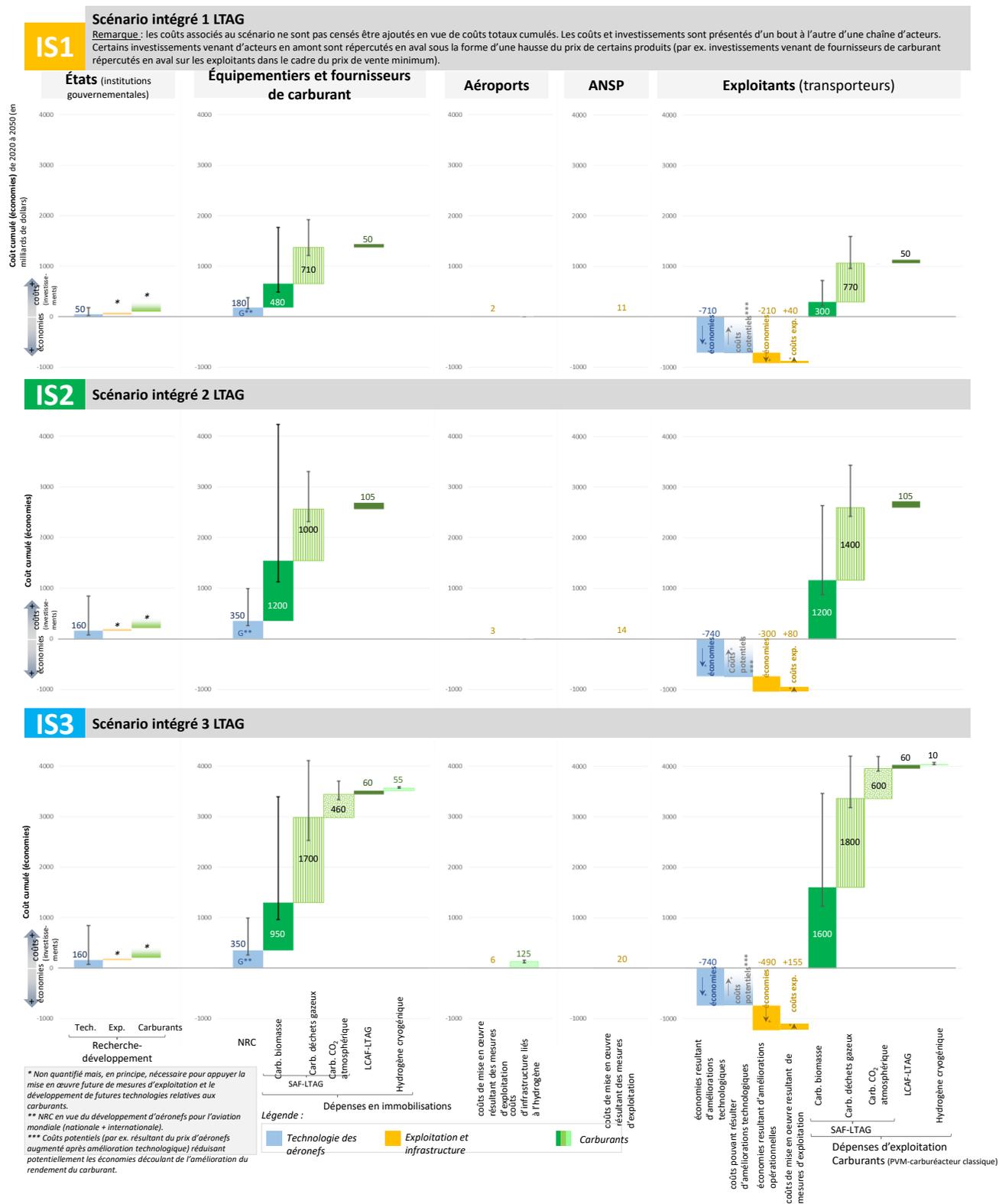


Figure 3. Coûts et investissements intégrés associés aux scénarios intégrés LTAG

4.5 Incidences des prévisions de trafic aérien

4.5.1 Les scénarios décrits ci-dessus se fondent sur une prévision de trafic moyen. Le CAEP a aussi évalué les incidences que pourraient avoir des prévisions de trafic plus fortes et plus faibles. La figure 4 montre les émissions résiduelles de CO₂ provenant de l'aviation internationale (après amélioration de la technologie des aéronefs et de l'exploitation et réduction des émissions résultant de SAF-LTAG, de LCAF-LTAG et de carburants non interchangeables, à savoir l'hydrogène, le cas échéant) dans tous les scénarios LTAG et dans les différents niveaux de prévision de trafic.

4.5.2 Dans le scénario IS1, les émissions de CO₂ en 2050 pourraient osciller entre 730 et 1 160 MtCO₂ ou se situer à plus ou moins 23 % autour du scénario de trafic moyen, et entre 920 et 1 880 MtCO₂ (plus ou moins 35 % autour du scénario de trafic moyen) en 2070. Dans le scénario IS2, les émissions de CO₂ en 2050 pourraient aller de 420 à 590 MtCO₂ (plus ou moins 16 % autour du scénario de trafic moyen) et de 490 à 950 MtCO₂ en 2070 (+ 58 % à -18 % autour du scénario de trafic moyen) en 2070. Enfin, dans le scénario IS3, les prévisions de trafic peuvent influencer les niveaux d'émissions résiduelles de CO₂ en 2050 variant de 150 à 260 MtCO₂ (plus ou moins 27 % autour du scénario de trafic moyen) et de 130 à 280 MtCO₂ en 2070 (plus ou moins 38 % autour du scénario de trafic moyen).

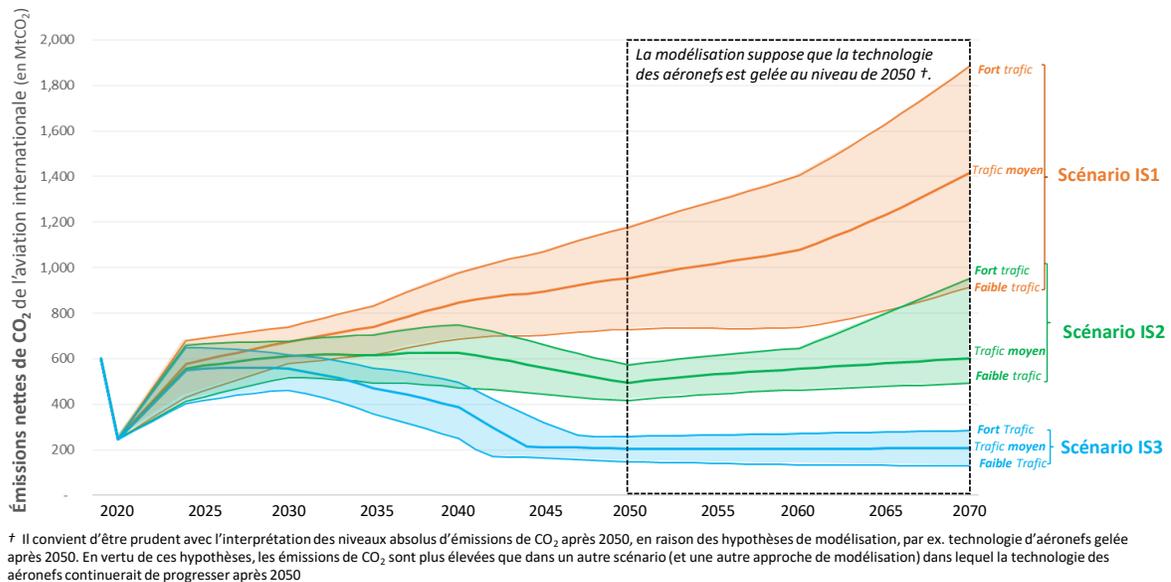


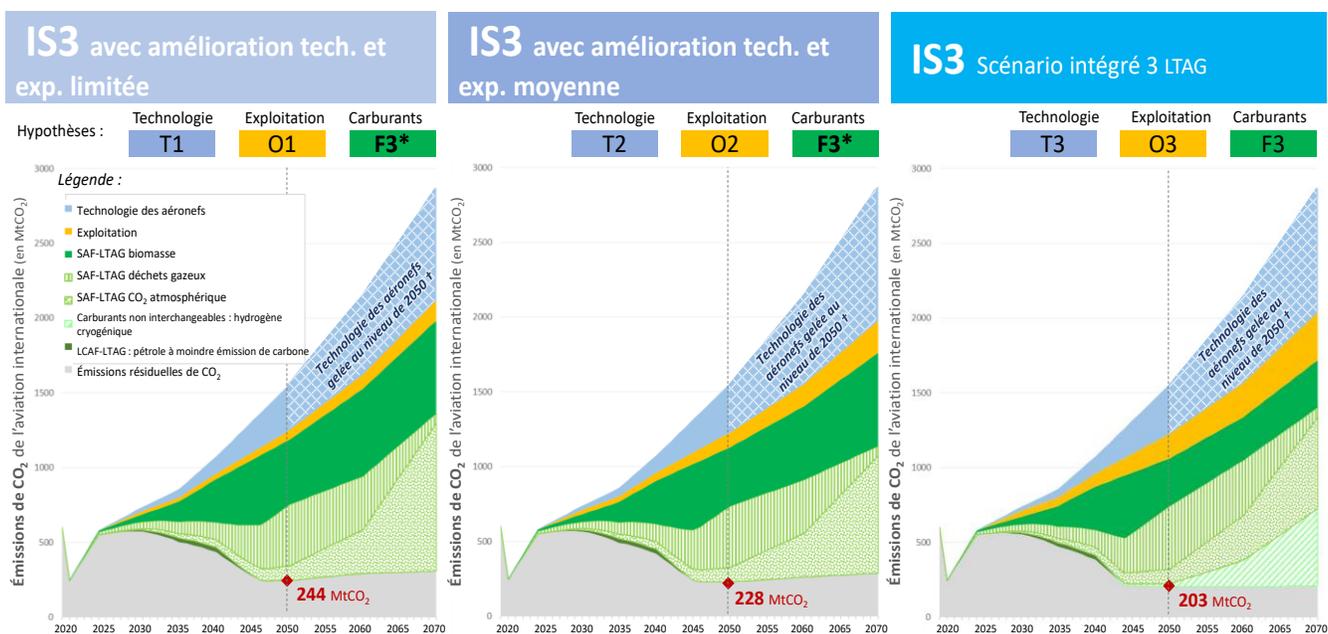
Figure 4. Effets des scénarios de trafic sur les émissions résiduelles de CO₂ dans tous les scénarios intégrés LTAG

4.6 Analyse de sensibilité du scénario IS3 pour examiner l'importance des carburants

4.6.1 Comme le décrit la section 3.1 sur les « scénarios intégrés » et comme l'illustre la section 4.2 sur les « tendances concernant les émissions de CO₂ de l'aviation internationale », l'Équipe spéciale LTAG a élaboré un ensemble de trois scénarios intégrés qui envisagent une série d'émissions résiduelles de CO₂ après amélioration de la technologie, de l'exploitation et des carburants. Dans ses délibérations sur l'élaboration de scénarios intégrés, l'Équipe spéciale LTAG a reconnu qu'il pourrait y avoir de multiples combinaisons de scénarios mettant en jeu technologie, exploitation et carburants pour former d'« autres scénarios intégrés », qui ne font pas l'objet d'un examen détaillé contrairement aux « scénarios intégrés ». En outre, les sous-groupes chargés de la technologie, de l'exploitation et des carburants ont élaboré des séries d'estimations autour de scénarios spécifiques à des mesures. Par exemple,

le Sous-groupe des technologies de l'Équipe spéciale LTAG a élaboré des estimations de progrès plus faibles, moyennes et plus élevées pour les améliorations apportées à la technologie des avions (voir l'appendice M5 pour en savoir plus). Le Sous-groupe de l'exploitation de l'Équipe spéciale LTAG-TG a élaboré des estimations faibles, moyennes et élevées des améliorations opérationnelles. Ces différentes combinaisons de scénarios spécifiques à des mesures et de fourchettes d'estimations ont servi de base à des analyses de sensibilité basées sur des scénarios.

4.6.2 La figure 5 représente des analyses de sensibilité illustratives de scénarios IS3 avec amélioration plus limitée de la technologie et de l'exploitation. Le graphique de droite ressemble à la figure 1. Le graphique du milieu illustre le cas d'une amélioration moyenne de la technologie et de l'exploitation avec fuselage et voilure de pointe et avions non conventionnels utilisant des carburants interchangeables, conformément au scénario carburants 3 (F3) qui donne lieu à 228 Mt CO₂ d'ici 2050. De même, dans le scénario avec des améliorations plus limitées de la technologie et de l'exploitation et le scénario F3 ajusté pour assurer sa cohérence interne, les émissions de CO₂ d'ici 2050 peuvent atteindre 244 MtCO₂. Ces résultats montrent que des voies multiples peuvent aboutir à des niveaux similaires d'émissions de CO₂. Ils montrent aussi que les scénarios et les analyses LTAG sont robustes, de même que la contribution essentielle qu'apportent les carburants pour dissocier la croissance du trafic aérien international de celle de ses émissions de CO₂.



* Scénario Carburants (F3) modifié pour être conforme aux scénarios Technologie des avions associés à IS1 et IS2 (à savoir, aucun avion de concept avancé (ACA-T3) propulsé à l'hydrogène compris dans IS1 et IS2) et ajusté pour satisfaire aux contraintes de volume de carburant. Note.- Dans le scénario F3* (IS1 hybride), les volumes de SAF-LTAG produits à partir de CO₂ atmosphérique diminuent de 1,68 en 2070 (aucun changement en 2060). De la même manière, dans le scénario F3* (IS2 hybride), les volumes de SAF-LTAG produits à partir de CO₂ atmosphérique diminuent de 1,33 en 2070 (aucun changement en 2060).

† Il convient d'être prudent avec l'interprétation des niveaux absolus d'émissions de CO₂ après 2050, en raison des hypothèses de modélisation, par ex. technologie d'avions gelée après 2050. En vertu de ces hypothèses, les émissions de CO₂ sont plus élevées que dans un autre scénario (et une autre approche de modélisation) dans lequel la technologie des avions continuerait de progresser après 2050.

Figure 5. Analyse de sensibilité des scénarios IS3 avec des améliorations technologiques et opérationnelles inférieures

4.6.3 Des analyses de sensibilité ne sont pas présentées pour les technologies, car la réduction ne varie pas considérablement entre les trois scénarios sur le plan de la technologie. De plus, de telles analyses ne sont pas fournies pour l'exploitation en raison de la réduction relativement modeste des émissions qui y est associée par rapport aux contributions de la technologie et du carburant.

5. ASPECTS À PRENDRE EN CONSIDÉRATION CONCERNANT LES OPTIONS

5.1 Sur la base des résultats de l'étude de faisabilité de l'Équipe spéciale LTAG, certaines options techniques relatives aux paramètres ont été recensées ci-dessous, ce qui pourrait étayer les discussions sur la faisabilité d'un éventuel objectif ambitieux à long terme. Cette liste n'est pas exhaustive et d'autres formulations peuvent bien sûr être envisagées.

- a) le **niveau annuel d'émissions** que les mesures peuvent potentiellement atteindre ; par exemple, 950, 500 ou 200 MtCO₂ en 2050 (sur la base des scénarios intégrés évalués). Il est possible que l'utilisation d'une année de référence antérieure à 2050 ne donne pas la certitude à long terme censée représenter un avantage clé de l'adoption d'un objectif ambitieux à long terme. L'utilisation d'une année de référence après 2070 serait sujette à une incertitude accrue compte tenu des incertitudes tant dans les prévisions sous-jacentes que dans la diffusion de technologies de pointe dans l'ensemble de la flotte mondiale et, sur la base de cette analyse, cela ne permettrait peut-être pas nécessairement de rehausser l'aspiration du secteur.
- b) Des **points de repère intermédiaires** au cours d'années repères pourraient ajouter une trajectoire au profil d'émissions dans le temps.
- c) Les **émissions totales cumulées du secteur de l'aviation internationale au cours d'une certaine période**, par exemple 23, 17 ou 12 GtCO₂ de 2020 à 2050 (sur la base des scénarios intégrés évalués). Les émissions totales cumulées du secteur feraient très intimement réagir la température atmosphérique et permettraient de suivre les progrès sans que des points de repère intermédiaires soient nécessaires. Autrement, des considérations similaires s'appliquent comme ci-dessus.

5.2 Comme l'Équipe spéciale LTAG s'est bornée à examiner des mesures sectorielles seulement, les mesures « hors secteur » ont été exclues de son analyse.

6. AUTRES ASPECTS À PRENDRE EN CONSIDÉRATION

6.1 **Incidences sur la croissance de l'aviation** : le CAEP a examiné les incidences potentielles des coûts (et investissements) globaux liés aux mesures qui sous-tendraient les scénarios LTAG sur la croissance de l'aviation. Bien qu'il soit difficile d'évaluer quantitativement ces incidences sur la croissance de l'aviation à long terme, le CAEP a noté qu'un objectif ambitieux à long terme pouvait augmenter les coûts d'exploitation, mais que certains coûts pouvaient être répercutés sur les voyageurs. Compte tenu de l'élasticité relativement plus faible des prix associée à l'aviation internationale (et des alternatives limitées aux voyages long-courriers), les incidences sur la croissance de l'aviation peuvent être limitées. Certaines des études examinées ont révélé des variations statistiques importantes entre les différents marchés géographiques du transport aérien. Les principaux facteurs considérés comme susceptibles de faire augmenter l'élasticité sont le faible niveau de maturité du marché, la prédominance de routes plus courtes, l'apparition de transporteurs à faibles coûts et la présence d'exploitants de vols d'affrètement, l'émergence de la classe moyenne et l'existence d'une réglementation libérale des prix. En outre, l'aviation devrait continuer de générer des retombées pour l'économie au plan national, au plan régional et au plan mondial.

6.2 **Résumé des incidences régionales** : la technologie des aéronefs et les décisions de conception associées continueront de répondre aux besoins du marché mondial et ne varieront pas d'une région à l'autre. Les exploitants d'aéronefs de diverses régions ou de divers États achèteront les meilleurs aéronefs disponibles qui répondent à leurs besoins. Il faut s'attendre à des variations régionales dans la mise en œuvre de mesures d'exploitation. Les variations régionales les plus importantes sont attendues dans la production et la consommation de carburant. Cela est dû à une série de facteurs comme la disponibilité au niveau régional de déchets et de matières premières tirées de la biomasse, de CO₂ et d'hydrogène cryogénique, d'énergies renouvelables, les dynamiques de marché et les infrastructures.

6.3 **Incidences sur le bruit et la qualité de l'air** : dans les trois scénarios, l'augmentation du trafic entraînera une augmentation de la valeur totale du bruit et des émissions de NO_x. Cependant, le bruit et la qualité de l'air local resteront des priorités, en particulier autour des aéroports, où les règles et redevances locales continueront d'influer sur certaines conceptions d'aéronef. L'évolution de la technologie des aéronefs permet généralement de réduire le bruit et les émissions ainsi que la consommation de carburant. Les gains d'efficacité opérationnelle peuvent s'accompagner d'avantages sur le plan du bruit, mais, en principe, pas sur la qualité de l'air local. Les SAF-LTAG et l'hydrogène cryogénique ont des émissions de particules plus faibles et ne produisent pas d'émissions de sulfate, ce qui présente des avantages connexes pour la qualité de l'air et la formation de traînées de condensation, tandis qu'aucun impact sur le bruit n'est prévu.

6.4 **Comparaison aux tendances CAEP/12** : les émissions de CO₂ dans les trois scénarios de l'Équipe spéciale LTAG (IS1, IS2 et IS3) ont été comparées à celles calculées dans le scénario carburant 4 de l'analyse des tendances en matière d'environnement CAEP/12 jusqu'en 2050. Les niveaux de référence (appelés ISO pour l'Équipe spéciale LTAG) sont identiques entre les deux ensembles d'analyses. Les émissions résiduelles du secteur dans le scénario IS2 de l'Équipe spéciale LTAG sont très proches de celles du scénario 4 des tendances CAEP/12 concernant les carburants. Les scénarios intégrés IS1 et IS3 de l'Équipe spéciale LTAG donnent, respectivement, des émissions de CO₂ plus élevées et plus faibles que le scénario des tendances CAEP/12 en 2050. Des précisions sont données dans l'appendice R2.

6.5 **Feuille de route de mise en œuvre** : les technologies des aéronefs, l'amélioration des mesures d'exploitation, ainsi que le développement des carburants nécessiteront une série de facteurs propices et de conditions assortie d'un calendrier jusqu'en 2050 et au-delà. Ceux-ci sont indiqués dans l'appendice R1 et des précisions sont fournies dans l'appendice sur la méthodologie.

6.6 **Suivi des progrès en vue d'un objectif** : il est prévu de suivre les progrès en vue d'un objectif adopté à terme. Il serait préférable de ne pas reproduire les processus existants ou de ne pas avoir d'attentes en matière d'établissement de rapports à l'endroit d'acteurs non étatiques. Les plans d'action des États, qu'ils présentent volontairement en vertu de l'article 10 de la résolution A40-18, peuvent constituer un mécanisme permettant à ces derniers de faire connaître les progrès accomplis dans la réalisation d'un objectif donné. Si un objectif est adopté, et une fois qu'il le sera, le CAEP pourrait mener des travaux futurs en vue de formuler des recommandations sur les paramètres, les mécanismes d'établissement de rapports, entre autres, en s'appuyant sur l'expérience tirée de l'élaboration de mécanismes de déclaration des émissions de CO₂, qui figurent dans le volume IV de l'Annexe 16.

6.7 **Examen** : l'OACI devra peut-être passer en revue tout objectif adopté à terme pour s'assurer qu'il reste approprié, en tenant compte d'informations comme les progrès accomplis en vue de réaliser l'objectif, les avancées technologiques, les progrès dans d'autres secteurs, les coûts et d'autres incidences sur les États et les acteurs de l'aviation, les connaissances scientifiques les plus récentes. Si un processus d'examen triennal est envisagé, il pourrait s'accorder avec les réunions du CAEP et l'Assemblée de sorte que les progrès soient examinés et des recommandations ou décisions formulées sur tout ajustement éventuel, comme pour l'examen périodique du CORSIA.

6.8 **Renforcement des capacités** : des besoins dans le domaine du renforcement des capacités et de l'assistance pourraient aussi apparaître en vue de concrétiser les scénarios. Ils pourraient être satisfaits sous la forme d'ateliers portant sur des solutions que les États peuvent mettre en œuvre pour atteindre des objectifs, notamment comprendre les coûts probables, et d'une assistance au suivi et à la mesure des émissions de CO₂ de l'aviation internationale, dans le cadre d'un programme de formation général qui pourrait ressembler au programme AGIR pour le CORSIA dont le succès n'est plus à démontrer.

7. APPENDICES AU RAPPORT FINAL

7.1 Le présent résumé de l'étude menée par l'Équipe spéciale LTAG est le résultat de deux années de travail pour le CAEP. Un ensemble de documents subsidiaires présente des approches de modélisation, des méthodes, des modèles, des hypothèses et des résultats à des fins de transparence et d'exhaustivité.

7.2 Les fiches de synthèse (appendice R1) du rapport final fournissent des renseignements supplémentaires sur les résultats, leurs interprétations et les feuilles de route de mise en œuvre des mesures relatives à la technologie, à l'exploitation et aux carburants. L'appendice R2 compare les tendances de l'Équipe spéciale LTAG (émissions de CO₂) aux tendances CAEP/12 sur les gaz à effet de serre (émissions de CO₂). L'appendice R3 place les résultats de l'étude de l'Équipe spéciale LTAG dans le contexte d'émissions cumulées pour limiter la hausse de la température en deçà de 1,5 °C et 2 °C. Enfin, l'appendice M1 donne des précisions sur l'approche suivie pour l'élaboration des scénarios ainsi que sur les approches, méthodes et résultats relatifs à l'estimation des coûts (investissements). Les appendices M2, M3, M4 et M5 donnent des précisions sur les scénarios relatifs aux prévisions, à la technologie, à l'exploitation et aux carburants, respectivement. On trouvera aussi l'appendice S1 sur le contexte de la climatologie, qui comprend le rapport du Groupe Incidences et état de la science (ISG) à l'Équipe spéciale LTAG et l'appendice B1 qui donne une description générale des activités globales et des méthodes de travail de l'Équipe spéciale LTAG.

Liste d'appendices:

Appendice R1 : Fiches de synthèse	https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixR1.pdf
Appendice R2 : Comparaison aux tendances	https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixR2.pdf
Appendice R3 : Résultats en contexte	https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixR3.pdf

Appendices relatifs à la méthodologie

Appendice M1 : Aperçu des approches de modélisation utilisées dans l'élaboration des résultats	https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM1.pdf
Appendice M2 : Prévisions	https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM2.pdf
Appendice M3 : Technologies	https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM3.pdf
Appendice M4 : Exploitation	https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM4.pdf
Appendice M5 : Carburants	https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM5.pdf

Appendice S1 : Contexte de la climatologie	https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixS1.pdf
--	---

Appendice B1 : Généralités	https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixB1.pdf
----------------------------	---
